Pêches et Océans Canada | Fisheries and Oceans Canada
Sciences | Science

S C C S | **C S A S**

Secrétariat canadien de consultation scientifique | **Canadian Science Advisory Secretariat**

Document de recherche 2005/019 | **Research Document 2005/019**

Ne pas citer sans
Autorisation des auteurs * | Not to be cited without
permission of the authors *

Calcul de la mortalité naturelle de la morue (*Gadus morhua*) du nord du golfe du Saint-Laurent pour la période de 1990 à 2004

Calculation of Northern Gulf of St. Lawrence cod (*Gadus morhua*) natural mortality for the 1990 to 2004 period

François Grégoire et/and Alain Fréchet

Direction des poissons et des mammifères marins / Marine Fish Mammals Branch
Ministère des Pêches et des Océans / Department of Fisheries and Oceans
Institut Maurice-Lamontagne / Maurice Lamontagne Institute
850 Route de la Mer
Mont-Joli, Québec
G5H 3Z4

* La présente série documente les bases scientifiques des évaluations des ressources halieutiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon les échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

* This series documents the scientific basis for the evaluation of fisheries resources in Canada. As such, it addresses the issues of the day in the time frames required and the documents it contains are not intended as definitive statements on the subjects addressed but rather as progress reports on ongoing investigations.

Les documents de recherche sont publiés dans la langue officielle utilisée dans le manuscrit envoyé au Secrétariat.

Research documents are produced in the official language in which they are provided to the Secretariat.

Ce document est disponible sur l'Internet à: | This document is available on the Internet at:
http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas/

ISSN 1499-3848 (Imprimé/Printed)
© Sa majesté la Reine, Chef du Canada, 2005
© Her Majesty the Queen in Right of Canada, 2005
Canada

105-07355/

Résumé

L'analyse séquentielle de populations a été utilisée pour calculer la mortalité naturelle de la morue (*Gadus morhua*) du nord du golfe du Saint-Laurent (divisions 3Pn,4RS de l'OPANO). Les calculs ont été réalisés à l'aide du logiciel ADAPT pour des périodes variant de 4 à 9 ans. Les diagnostics et les résultats de ces analyses sont similaires d'un modèle à l'autre et par rapport à la formulation de base utilisée dans l'évaluation d'abondance. Les résultats suggèrent aussi une diminution graduelle de la mortalité naturelle au cours des années 1990 et 2000.

Abstract

Sequential population analysis was used to calculate natural mortality of the northern Gulf of St. Lawrence cod (*Gadus morhua*) in NAFO Divisions 3Pn,4RS. Calculations were made using the ADAPT software for periods ranging between 4 and 9 years. The diagnosis and results of these analyses are similar from one model to the other and according to the basic formulation used for the abundance assessment. Results also suggest a gradual drop in natural mortality during the 1990s and 2000s.

INTRODUCTION

L'abondance de la morue (*Gadus morhua*) du nord du golfe du Saint-Laurent (divisions 3Pn,4RS de l'OPANO) est évaluée à l'aide d'une analyse séquentielle de populations (ASP) (Fréchet et al., 2003). Le calibrage de cette analyse est réalisé à partir d'indices d'abondance provenant d'un relevé scientifique au chalut de fond du mois d'août (NGCC *Alfred Needler*) et des pêches sentinelles au chalut de fond (juillet), à la palangre et au filet maillant. Les résultats de l'ASP sont utilisés dans des projections des captures selon des valeurs définies des mortalités naturelle et par la pêche. Un certain niveau d'imprécision est associé à ces projections en raison de l'incertitude reliée à la taille réelle des classes d'âge. Ces incertitudes sont exprimées par une analyse de risque qui mesure les probabilités de ne pas atteindre certains niveaux de référence (Gavaris et Sinclair, 1998).

Schnute et Richards (1995) ont démontré qu'il était possible de calculer la mortalité naturelle à l'aide de l'ASP. Cette approche a été utilisée par Chouinard et al. (2003) pour la morue du sud du golfe du Saint-Laurent (division 4T de l'OPANO) et Benoît et Chouinard (2004) pour celle du nord du Golfe. Dans les deux cas, les calculs de la mortalité naturelle ont été effectués à l'aide du logiciel ADAPT (Gavaris, 1988). Des simulations ont démontré qu'il était possible d'utiliser ce logiciel pour ce type de calcul (Chouinard et al., 2002).

Dans la présente étude, l'ASP est utilisée pour calculer à nouveau la mortalité naturelle de la morue du nord du golfe du Saint-Laurent. La période de calcul s'étend maintenant de 1990 à 2004.

INTRODUCTION

Northern Gulf of St. Lawrence cod (*Gadus morhua*) (NAFO Divisions 3Pn,4RS) abundance is estimated using sequential population analysis (SPA) (Fréchet et al., 2003). The calibration of this analysis is made using abundance indices derived from a bottom trawl scientific survey carried out in August (CCGS *Alfred Needler*) and from bottom trawl (July), longline and gillnet sentinel fisheries. SPA results are used to make catch projections according to defined values of natural mortalities and fishing mortalities. There is a certain level of inaccuracy with these projections due to the uncertainty of the actual size of year-classes. These uncertainties are expressed using risk analysis, which measures the probabilities that certain reference levels would not be achieved (Gavaris and Sinclair, 1998).

Schnute and Richards (1995) showed it was possible to calculate natural mortality using SPA. This approach was used by Chouinard et al. (2003) for southern Gulf of St. Lawrence cod (NAFO Division 4T) and by Benoît and Chouinard (2004) for northern Gulf cod. In both cases, natural mortality calculations were made using the ADAPT software (Gavaris, 1988). Simulations showed that this software could be used for this type of calculation (Chouinard et al., 2002).

For this study, SPA is used to calculate again the natural mortality of the northern Gulf of St. Lawrence cod. The calculation period now extends between 1990 and 2004.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

FORMULATION DE BASE DE L'ASP

Les calculs de la mortalité naturelle ont été réalisés à l'aide de la version 3.0 d'ADAPT (Gavaris, 1999). La formulation de base demeure celle employée par Benoît et Chouinard (2004). Cependant, l'indice d'abondance dérivé du relevé des pêches sentinelles d'automne (octobre) n'a pas été utilisé comme c'est le cas maintenant pour l'évaluation d'abondance (A. Fréchet, IML, MPO, comm. pers.). La formulation de base pose l'hypothèse que l'erreur de mesure associée à la capture à l'âge est négligeable et que les erreurs reliées aux indices d'abondance (exprimés en logarithmes naturels) sont indépendantes et de même distribution. Les principaux éléments de cette formulation sont :

1) **Paramètres estimés:**

- ***Population en nombres*** :
  $N_{i,2005}$ (i=âges 3,....13), et
  $N_{13,t}$ (t=années 2001, 2002, 2003 et 2004)

- ***Coefficients de capturabilité***
  $q(NR_{août\text{-}Needler})_i$ (i=2,....13)
  $q(NR_{juillet\text{-}Sentinelle})_i$ (i=2,...13)
  $q(PUE_{LL\text{-}Sentinelle})_i$ (i=3,...13)
  $q(PUE_{GN\text{-}Sentinelle})_i$ (i=3,...13)

  LL=palangre, GN=filet maillant

- ***Nombre de paramètres*** : 61, dont 15 $N_{i,1}$, 12 $q(NR_{août\text{-}Needler})_i$, 12 $q(NR_{juillet\text{-}Sentinelle})_i$, 11 $q(PUE_{LL\text{-}Sentinelle})_i$ et 11 $q(PUE_{GN\text{-}Sentinelle})_i$

2) **Structure imposée :**

- ***Mortalité naturelle (M)***:
  Fixée à 0,2 pour tous les âges (2 à 13) entre 1974 et 1985, et à 0,4 entre 1986 et 2004

- ***Mortalité par la pêche (F)*** :
  F à l'âge 13 fixée à la moyenne arithmétique des

MATERIAL AND METHODS

SPA BASIC FORMULATION

Natural mortality calculations were made using ADAPT version 3.0 (Gavaris, 1999). The basic formulation is still the one used by Benoît and Chouinard (2004). However, the abundance index derived from the fall sentinel fisheries survey (October) was not used as it is the case now for the abundance assessment (A. Fréchet, MLI, DFO, pers. comm.). The basic formulation hypothesizes that the measurement error associated with the catch-at-age is insignificant and that the errors regarding the abundance indices (expressed in natural logarithms) are independent and of equal distribution. The main features of this formulation are:

1) **Estimated parameters:**

- ***Population in numbers***:
  $N_{i,2005}$ (i=ages 3,....13), and
  $N_{13,t}$ (t=years 2001, 2002, 2003 and 2004)

- ***Catchability coefficients***
  $q(NR_{August\text{-}Needler})_i$ (i=2,....13)
  $q(NR_{July\text{-}Sentinel})_i$ (i=2,...13)
  $q(CPUE_{LL\text{-}Sentinel})_i$ (i=3,...13)
  $q(CPUE_{GN\text{-}Sentinel})_i$ (i=3,...13)

  LL=longline, GN=gillnet

- ***Number of parameters***: 61, of which 15 $N_{i,1}$, 12 $q(NR_{August\text{-}Needler})_i$, 12 $q(NR_{July\text{-}Sentinel})_i$, 11 $q(CPUE_{LL\text{-}Sentinel})_i$ and 11 $q(CPUE_{GN\text{-}Sentinel})_i$

2) **Imposed structure:**

- ***Natural mortality (M)***:
  Established at 0.2 for all ages (2 to13) between 1974 and 1985, and at 0.4 between 1986 and 2004

- ***Fishing mortality (F)*** :
  F at age 13 established at the arithmetic mean of

F à l'âge 11 et 12 pour 1974 à 2000

- ***Recrutement :***
  Fixé à l'âge 2 en 2005 pour la classe d'âge de 2003 et égal à la moyenne arithmétique du recrutement des classes d'âge de 2000 à 2002 provenant d'une première ASP

- ***Ordonnée à l'origine :***
  Terme non inclus dans le modèle

3) **Données d'entrée :**

- ***Capture à l'âge :***
  $C_{i,t}$ (i=2,…13; t=1974-2004)
  Note : les captures à l'âge 2 ont été fixées à 0 pour toutes les années

- ***Abondance (N) des relevés au chalut :***
  $NR_{(août\text{-}Needler)i,t}$ (i=2,…13; t=1990-2003)
  $NR_{(juillet\text{-}Sentinelle)i,t}$ (i=2,…13; t=1995-2004)

- ***PUE de la pêche :***
  $PUE_{(LL\text{-}Sentinelle)i,t}$ (i=3,…13; t=1995-2004)
  $PUE_{(GN\text{-}Sentinelle)i,t}$ (i=3,…13; t=1995-2004)

- ***Nombre total d'observations :*** 508, dont 168 $NR_{(août\text{-}Needler)}$, 120 $NR_{(juillet\text{-}Sentinelle)}$, 110 $PUE_{(LL\text{-}Sentinelle)}$ et 110 $PUE_{(GN\text{-}Sentinelle)}$

4) **Fonction à minimiser:**

$$\sum_i \sum_t (\ln NR(août_Needler)_{i,t} - \ln q(NR(août_Needler), N_{i,t}))^2 +$$
$$\sum_i \sum_t (\ln NR(juillet_Sentinelle)_{i,t} - \ln q(NR(juillet_Sentinelle), N_{i,t}))^2 +$$
$$\sum_i \sum_t (\ln PUE(LL_Sentinelle)_{i,t} - \ln q(PUE(LL_Sentinelle), N_{i,t}))^2 +$$
$$\sum_i \sum_t (\ln PUE(GN_Sentinelle)_{i,t} - \ln q(PUE(GN_Sentinelle), N_{i,t}))^2$$

Le calibrage de l'ASP a été réalisé à l'aide de l'algorithme de Marquardt (Gavaris, 1988) en utilisant le modèle proportionnel de capturabilité. Les valeurs 0 des indices d'abondance ont été traitées par ADAPT comme étant des données manquantes. Les paramètres et leur variance ont été estimés par une approche analytique.

F at age 11 and 12 for 1974 to 2000

- ***Recruitment:***
  Established at age 2 in 2005 for the 2003 year-class and equal to the arithmetic mean of recruitment of the 2000 to 2002 year-classes derived from a first SPA

- ***Intercept estimate:***
  Term not included in the model

3) **Input data:**

- ***Catch-at-age:***
  $C_{i,t}$ (i=2,…13; t=1974-2004)
  Note: Catches-at-age 2 were established at 0 for every year

- ***Abundance (N) of trawl surveys:***
  $NR_{(August\text{-}Needler)i,t}$ (i=2,…13; t=1990-2003)
  $NR_{(July\text{-}Sentinel)i,t}$ (i=2,…13; t=1995-2004)

- ***Fishery CPUE:***
  $CPUE_{(LL\text{-}Sentinel)i,t}$ (i=3,…13; t=1995-2004)
  $CPUE_{(GN\text{-}Sentinel)i,t}$ (i=3,…13; t=1995-2004)

- ***Total number of observations:*** *508, of which* 168 $NR_{(August\text{-}Needler)}$, 120 $NR_{(July\text{-}Sentinel)}$, 110 $CPUE_{(LL\text{-}Sentinel)}$ and 110 $CPUE_{(GN\text{-}Sentinel)}$

4) **Function to be minimized:**

$$\sum_i \sum_t (\ln NR(August_Needler)_{i,t} - \ln q(NR(August_Needler), N_{i,t}))^2 +$$
$$\sum_i \sum_t (\ln NR(July_Sentinel)_{i,t} - \ln q(NR(July_Sentinel), N_{i,t}))^2 +$$
$$\sum_i \sum_t (\ln CPUE(LL_Sentinel)_{i,t} - \ln q(CPUE(LL_Sentinel), N_{i,t}))^2 +$$
$$\sum_i \sum_t (\ln CPUE(GN_Sentinel)_{i,t} - \ln q(CPUE(GN_Sentinel), N_{i,t}))^2$$

The SPA was calibrated with Marquardt's algorithm (Gavaris, 1988) using the proportional catchability model. The 0 values from abundance indices were processed by ADAPT as missing data. The parameters and their variance were estimated using an analytical approach.

Cette formulation de base a été utilisée une première fois dans ADAPT afin de comparer les moyennes des carrés des écarts (MCÉ) du modèle (1990-2004) et de chaque indice d'abondance (1998-2004), les résidus, les coefficients de capturabilité, l'abondance (2^+), la biomasse reproductrice (3^+), la mortalité par la pêche (8^+ pondérée par l'abondance) et le recrutement partiel aux valeurs correspondantes des modèles pour lesquels la mortalité naturelle a été estimée. La capture à l'âge et les indices d'abondance utilisés dans ces modèles sont présentés aux annexes 1 et 2.

This basic formulation was first used with ADAPT to compare the mean square errors (MSE) of the model (1990-2004) and of each index of abundance (1998-2004), residuals, catchability coefficients, abundance (2^+), spawning biomass (3^+), fishing mortality (8^+ weighted by abundance), and partial recruitment to corresponding values from models for which natural mortality was estimated. Catch-at-age and abundance indices used in these models are presented in annexes 1 and 2.

ESTIMATIONS DE LA MORTALITÉ NATURELLE

NATURAL MORTALITY ESTIMATES

Les estimations de la mortalité naturelle ont été réalisées pour des périodes variant de 4 à 9 ans afin d'éviter que les résultats soient affectés par des changements temporels de capturabilité (Benoît et Chouinard, 2004). Les périodes ont été définies en débutant par la dernière année (2004). Aucune estimation de la mortalité naturelle n'a pu être réalisée pour des périodes complètes précédant 1990, c'est-à-dire la première année du plus ancien indice d'abondance (NGCC *Alfred Needler*) utilisé dans l'ASP. Une estimation finale de la mortalité naturelle a été réalisée pour la période 1990-2004.

Natural mortality estimates were made for periods ranging between 4 and 9 years in order to prevent results from being affected by temporal changes in catchability (Benoît and Chouinard, 2004). Periods were defined beginning with last year (2004). No natural mortality estimates were made for entire periods prior to 1990, i.e. the first year for the oldest abundance index (CCGS *Alfred Needler*) used in the SPA. A final natural mortality estimate was made for the 1990-2004 period.

RÉSULTATS

RESULTS

Les diverses formulations d'ADAPT suggèrent une diminution graduelle de la mortalité naturelle au cours des années 1990 et 2000 (Figure 1). Ces formulations ont toutes convergé. Elles ont aussi produit des moyennes des carrés des écarts qui ont très peu varié d'une formulation à l'autre (Tableau 1) et d'un indice d'abondance à

The various ADAPT formulations suggest a gradual decline in natural mortality over the 1990s and 2000s (Figure 1). These formulations have all converged. They have also produced mean square errors that have only slightly differed from one formulation to another (Table 1) and from one abundance index to another (Figure 2).

l'autre (Figure 2).

Pour chaque indice d'abondance, les résidus annuels présentent les mêmes tendances (Figure 3). Il en est de même des résidus à l'âge (Figures 4 à 7) et des coefficients de capturabilité (Figure 8).

For each abundance index, annual residuals show the same trends (Figure 3). The same is true for residuals at age (Figures 4 to 7) and for catchability coefficients (Figure 8).

Pour les années récentes, les résultats des ASP dénotent très peu de différences dans les valeurs d'abondance (Figure 9A), de biomasse reproductrice (Figure 9B) et de la mortalité par la pêche (Figure 9C). Cependant, des différences plus importantes sont observées pour la période précédant 1990. Ces différences s'expliquent par les valeurs estimées de la mortalité naturelle pour le début des années 1990. Ces valeurs sont en effet plus élevées que celles fixées dans la formulation de base. Les résultats indiquent aussi que le recrutement partiel varie peu d'une formulation à l'autre. Pour les âges les plus vieux, il se termine en plateau pour la période comprise entre 1974 à 1996 (Figure 10A). Cependant, il se termine plutôt en un dôme léger (Figure 10B) depuis 1997, c'est-à-dire depuis la reprise de la pêche commerciale aux engins fixes (palangre et filet maillant) seulement.

For recent years, SPA results show only marginal differences in abundance values (Figure 9A), in spawning biomass (Figure 9B) and in fishing mortality (Figure 9C). However, greater differences were recorded for the period prior to 1990. These differences can be explained by the natural mortality estimated values of the early 1990s. In fact, these values are higher than those set in the basic formulation. The results also show that partial recruitment only differed slightly from one formulation to another. For the older ages, it ends in a plateau for the 1974-1996 period (Figure 10A). However, it ends more as a slight dome (Figure 10B) since 1997, i.e. only since the commercial fixed-gear fishery resumed (longline and gillnet).

Les valeurs les plus élevées de la mortalité naturelle ont été calculées pour le début des années 1990 (Figure 1). Par la suite, une baisse graduelle de la mortalité naturelle est observée. La valeur mesurée pour la période de 1990 à 2004 se situe à 0,36 ± deux erreur-types de 0,045 (de 0,27 à 0,45) comparativement à 0,42 (de 0,34 à 0,52) pour Benoît et Chouinard (2004).

The highest natural mortality values were calculated in the early 1990s (Figure 1). Afterwards, a gradual decline of natural mortality was observed. The recorded value for the 1990-2004 period was 0.36 ± two standard errors of 0.045 (from 0.27 to 0.45) compared with 0.42 (from 0.34 to 0.52) for Benoît and Chouinard (2004).

CONCLUSION

CONCLUSION

Les estimations de la mortalité totale (*Z*) calculée à partir des relevés scientifiques au chalut ainsi que la grande proportion

Total mortality estimates (Z) calculated using scientific trawl surveys and the large number of older individuals in commercial

d'individus âgés dans les captures commerciales (A. Fréchet, IML, MPO, comm. pers.), suggéraient une mortalité naturelle en baisse. Les analyses présentées ici confirment ces observations et montrent une diminution graduelle de la mortalité naturelle au cours des années 1990 et 2000. Selon ces analyses, la valeur de M=0,4 utilisée dans la formulation de base de l'ASP est vraisemblablement trop élevée. Une mortalité naturelle plus faible changerait notre perception du stock. L'abondance de ce dernier serait alors moins élevée que ce qui a été calculé précédemment. Une diminution de la mortalité naturelle entraînerait aussi des projections de captures plus élevées.

catches (A. Fréchet, MLI, DFO, pers. comm.) suggested a decreasing natural mortality. The analyses presented here confirm these observations and show a gradual decline in natural mortality over the 1990s and 2000s. According to these analyses, the M=0.4 value used in the basic formulation of the SPA is in all probability too high. A lower natural mortality would change our perception of the stock. Its abundance would then be lower than that which was previously calculated. A decline in natural mortality would also result in higher catch projections.

Les mortalités naturelles calculées dans la présente étude diffèrent légèrement de celles obtenues par Benoît et Chouinard (2004). Ces différences pourraient s'expliquer par le fait que l'indice du relevé d'octobre n'a pas été utilisé dans la formulation de base et dans les formulations ayant servi aux calculs de la mortalité naturelle. De plus, Benoît et Chouinard (2004) ont exclu de leurs formulations les jeunes groupes d'âge dont l'abondance n'est pas bien mesurée par les filets maillants. Nous suggérons d'examiner à nouveau la cohérence de l'indice des filets maillants et de ne plus utiliser dans les évaluations d'abondance de la morue les groupes d'âge qui seraient mal évalués par cet indice.

Natural mortalities calculated in this study slightly differ from those recorded by Benoît and Chouinard (2004). These differences could be explained by the fact that the October survey index was not used in the basic formulation and in the formulations for which natural mortalities were calculated. Furthermore, Benoît and Chouinard (2004) excluded from their formulations the younger age groups whose abundance is not well recorded by gillnets. We suggest that gillnet index consistency be re-examined and that age groups that might not be properly measured by this index be excluded from cod abundance assessments.

REMERCIEMENTS

De très sincères remerciements vont au Dr. Jean-Claude Brêthes et au Dr. Martin Castonguay pour la révision du document.

ACKNOWLEDGEMENTS

Very sincere thanks go to Dr. Jean-Claude Brêthes and Dr. Martin Castonguay for the review of this document.

RÉFÉRENCES / *REFERENCES*

Benoît, H.P., et/and G. A. Chouinard. 2004. Mortality of northern Gulf of St. Lawrence cod during the period from 1990 to 2003. CSAS Res. Doc. 2004/042. 15 p.

Chouinard, G. A., M. O. Hammill et/and D. P. Swain. 2002. Unaccounted mortality in fisheries: correspondence between changes in grey seal population abundance and variation in natural mortality of southern Gulf of St. Lawrence cod. ICES C.M. 2002/V: 11.

Chouinard, G.A., D. P. Swain, L. Curie, G. A. Poirier, A. Rondeau, H. Benoît, T. Hurlbut, et/and D. Daigle. 2003. Assessment of the southern Gulf of St. Lawrence cod stock, February 2003. CSAS Res. Doc. 2003/015. 116 p.

Fréchet, A., J. Gauthier, P. Schwab, H. Bourdages, D. Chabot, F. Collier, F. Grégoire, Y. Lambert, G. Moreault, L. Pageau, et/and J. Springle. 2003. The status of cod in the northern Gulf of St. Lawrence in 2002. CSAS Res. Doc. 2003/065. 90 p.

Gavaris, S. 1988. An adaptive framework for the estimation of population size. CAFSAC Res. Doc. 88/29: 12 p.

Gavaris, S. 1999. ADAPT (ADAPTive Framework) User's Guide. DFO. St. Andrews Biological Station, St. Andrews, N.B., Canada. 25 p.

Gavaris, S., et/and A. Sinclair. 1998. From Fisheries Assessment Uncertainty to Risk Analysis for Immediate Management Actions *In*: F. Funk, T. J. Quinn II, J. Heifetz, J. N. Ianelli, J. E. Powers, J. F. Schweigert, P. J. Sullivan, and C.-I. Zhang (Editors), Fishery Stock Assessment Models. University of Alaska Sea Grant, AK-SG-98-01, Fairbanks. 1054 p.

Schnute, J. T., et/and L. J. Richards. 1995. The influence of error on population estimates from catch-age models. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 52: 2063-2077.

Tableau 1. Moyennes des carrés des écarts (MCÉ) des analyses séquentielles de populations utilisées pour estimer la mortalité naturelle de la morue du nord du golfe du Saint-Laurent.

Table 1. Mean square error (MSE) of the sequential population analyses used to estimate the natural mortality of the northern Gulf of St. Lawrence cod.

ANALYSES / *ANALYSES*	NOMBRE TOTAL DE PARAMÈTRES ESTIMÉS / *TOTAL NUMBER OF PARAMETERS ESTIMATED*	NOMBRE DE M ESTIMÉES / *NUMBER OF M ESTIMATED*	MOYENNE DES CARRÉS DES ÉCARTS (MCÉ) / *MEAN SQUARE ERROR (MSE)*
Estimations de M, périodes de 4 ans / *M estimates, 4-year periods*	65	4	0.2954
Estimations de M, périodes de 5 ans / *M estimates, 5-year periods*	64	3	0.2975
Estimations de M, périodes de 6 ans / *M estimates, 6-year periods*	64	3	0.2973
Estimations de M, périodes de 7 ans / *M estimates, 7-year periods*	63	2	0.2957
Estimations de M, périodes de 8 ans / *M estimates, 8-year periods*	63	2	0.2941
Estimations de M, périodes de 9 ans / *M estimates, 9-year periods*	63	2	0.2996
Estimation de M, 1990-2004 / *M estimate, 1990-2004*	62	1	0.2999
Évaluation courante (2004) / *Current assessment (2004)*	61	0	0.2996
NGCC / *CCGS Alfred Needler*			0.3381
Juillet / *July*			0.1650
Palangre / *Longline*			0.1916
Filet maillant / *Gillnet*			0.2937

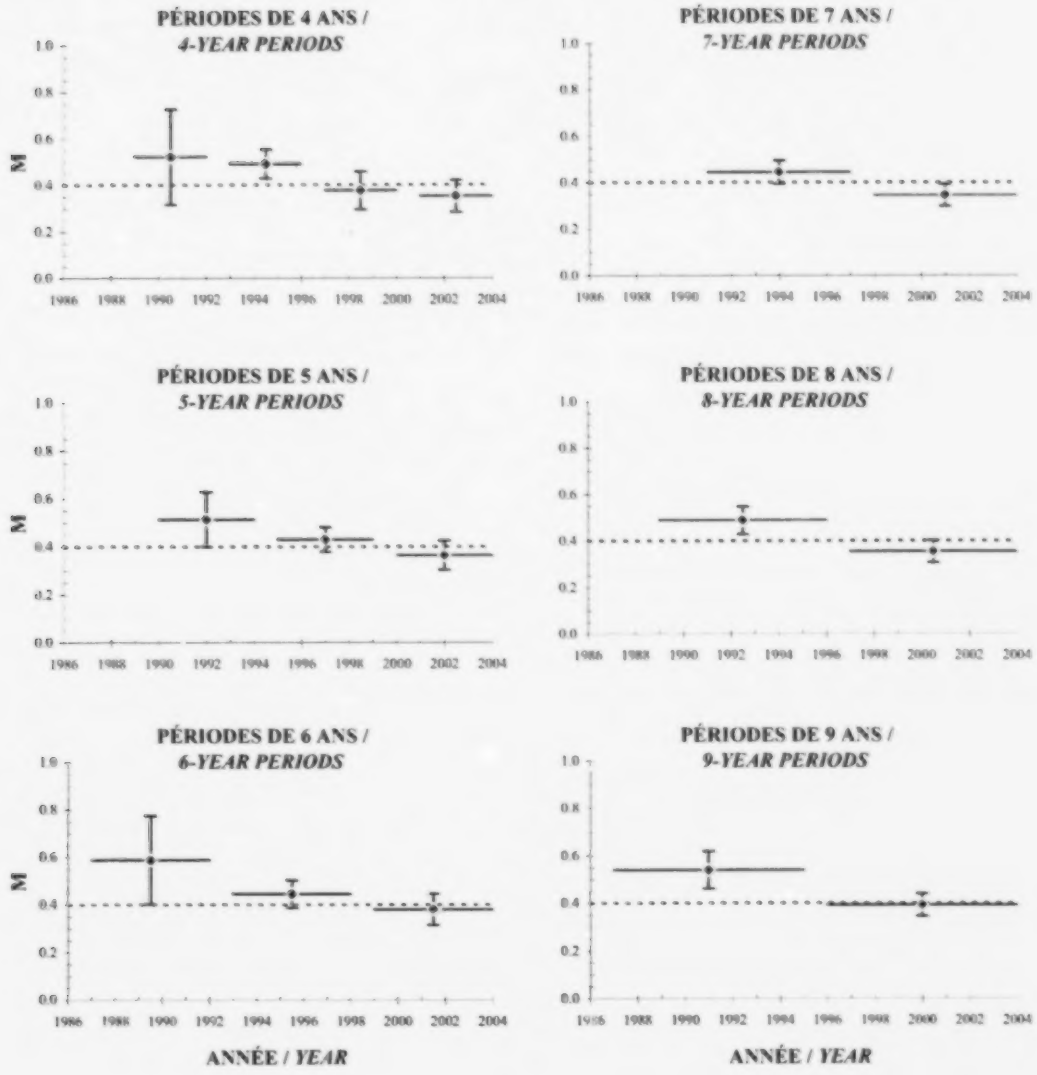

Figure 1. Estimations de la mortalité naturelle pour des périodes variant de 4 à 9 ans. La date médiane et l'étendue de chaque période sont représentées par les symboles et les traits horizontaux; les traits verticaux représentent l'erreur-type et le trait pointillé la valeur de la mortalité naturelle utilisée dans la formulation courante de l'analyse séquentielle de populations / *Natural mortality estimates for periods of 4 to 9 years. Median date and range of each period are represented by the symbols and horizontal lines; vertical lines are the standard errors and horizontal dotted lines the value of natural mortality used in the current sequential population analysis formulation.*

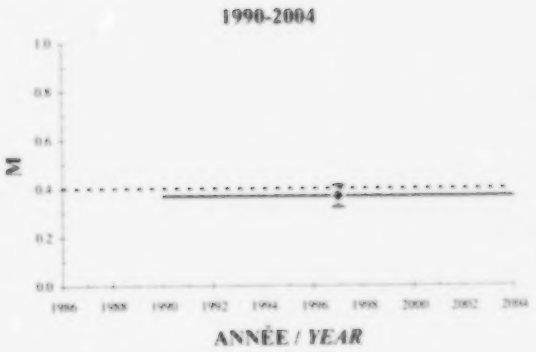

Figure 1. (Suite / *Continued*).

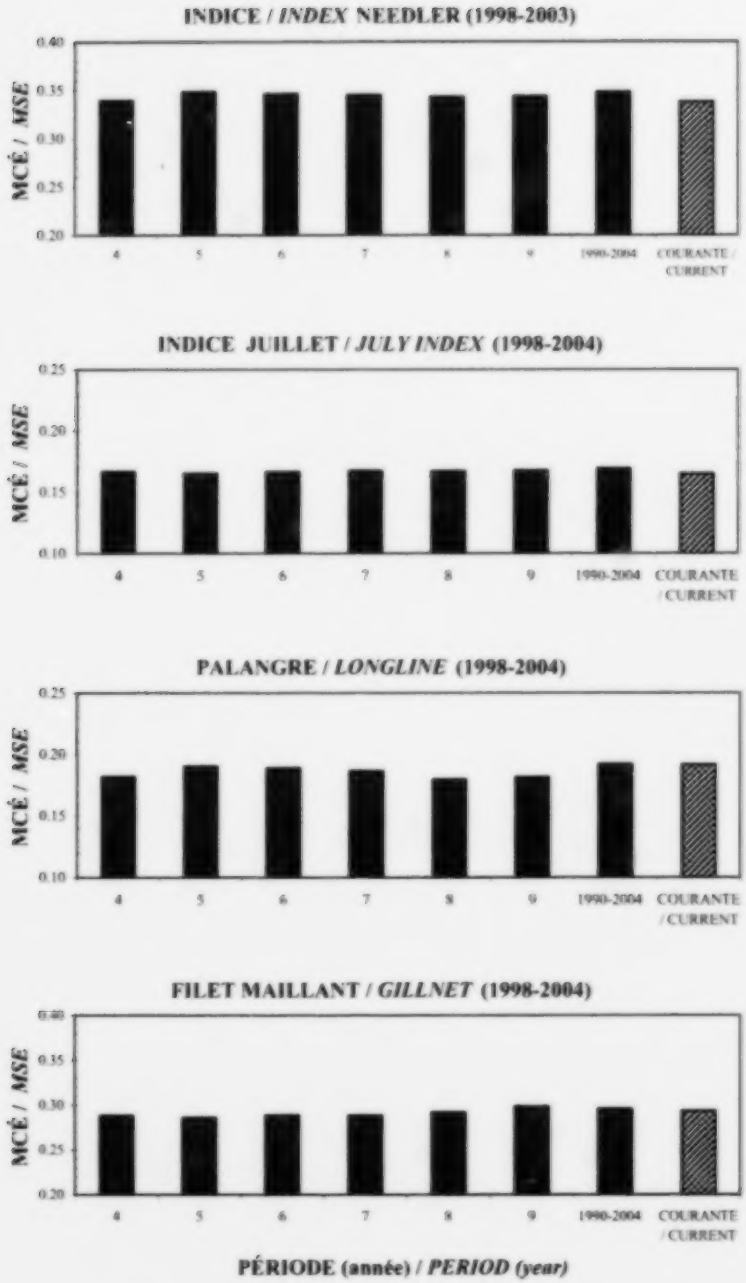

Figure 2. Valeurs des moyennes des carrés des écarts (MCÉ) par indice d'abondance et période de calcul de la mortalité naturelle (les résultats de la formulation courante sont inclus) / *Values of the mean square errors (MSE) by index of abundance and period of calculation of the natural mortality (results of the current formulation are included).*

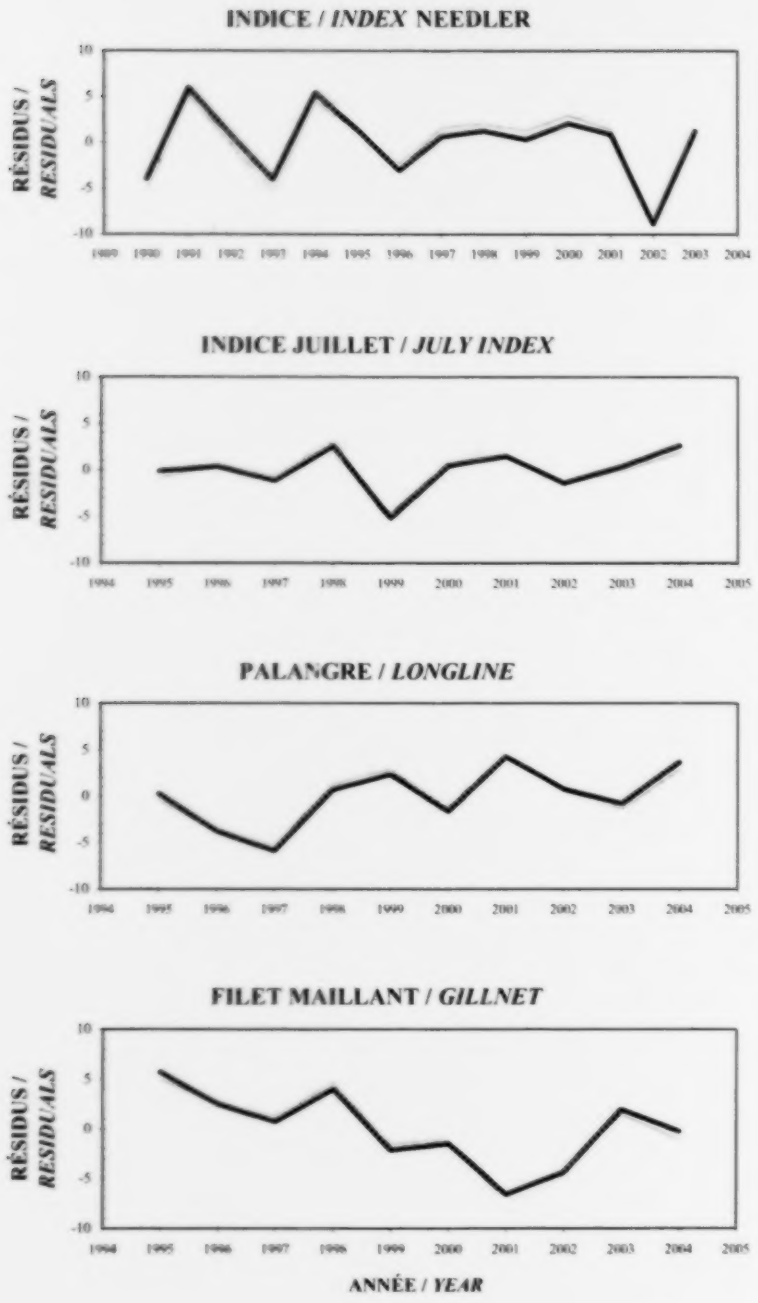

Figure 3. Résidus annuels des estimations de la mortalité naturelle par indice d'abondance et période de calcul (la formulation courante est représentée par le trait foncé) / *Annual residuals of the natural mortality estimates by index of abundance and period of calculation (current formulation is represented by the bold line).*

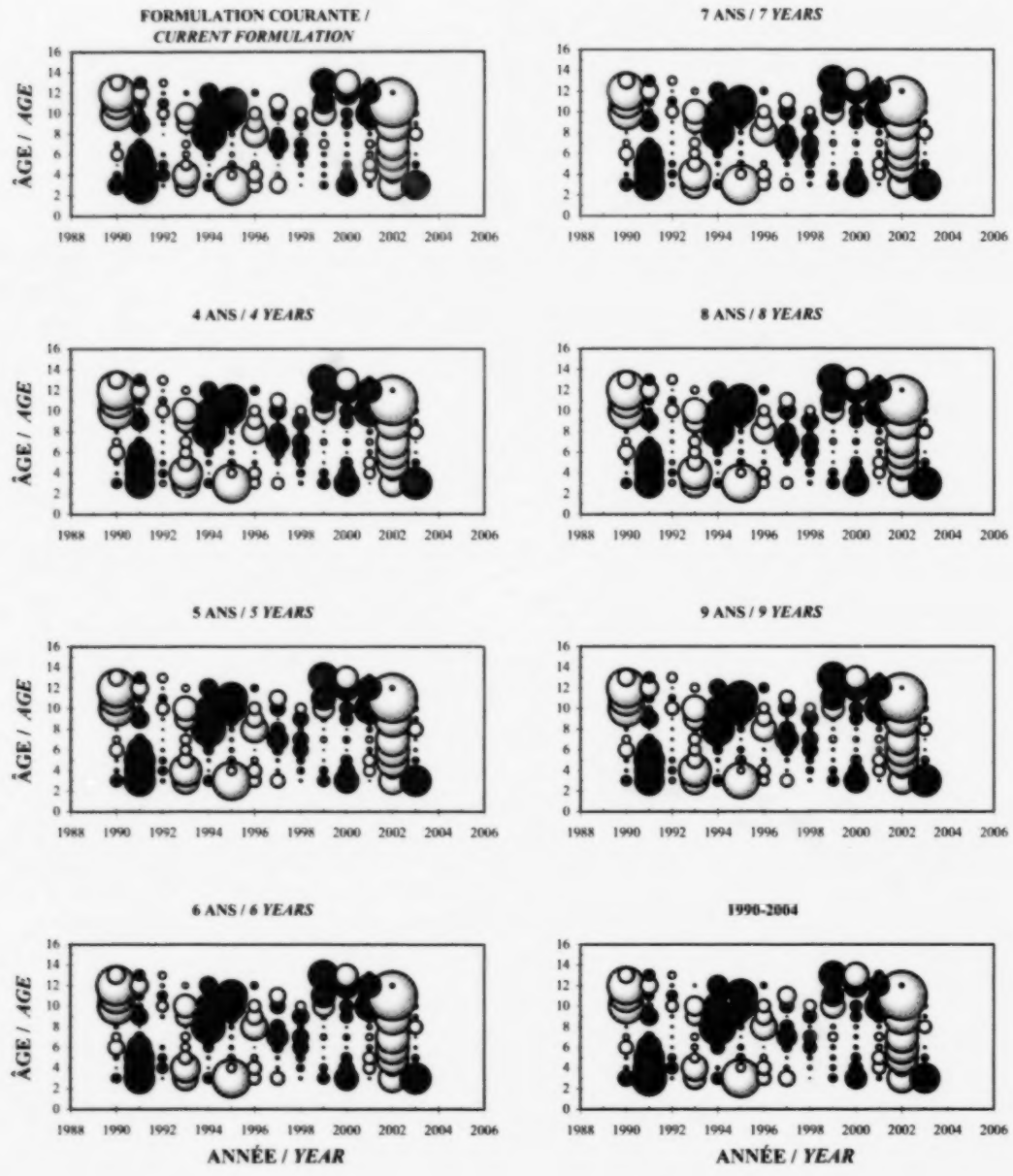

Figure 4. Résidus annuels, par groupe d'âge et par période de calcul de la mortalité naturelle de l'indice d'abondance du NGCC *Alfred Needler / Annual, by age group and period of calculation of the natural mortality residuals of the CCGS Alfred Needler abundance index.*

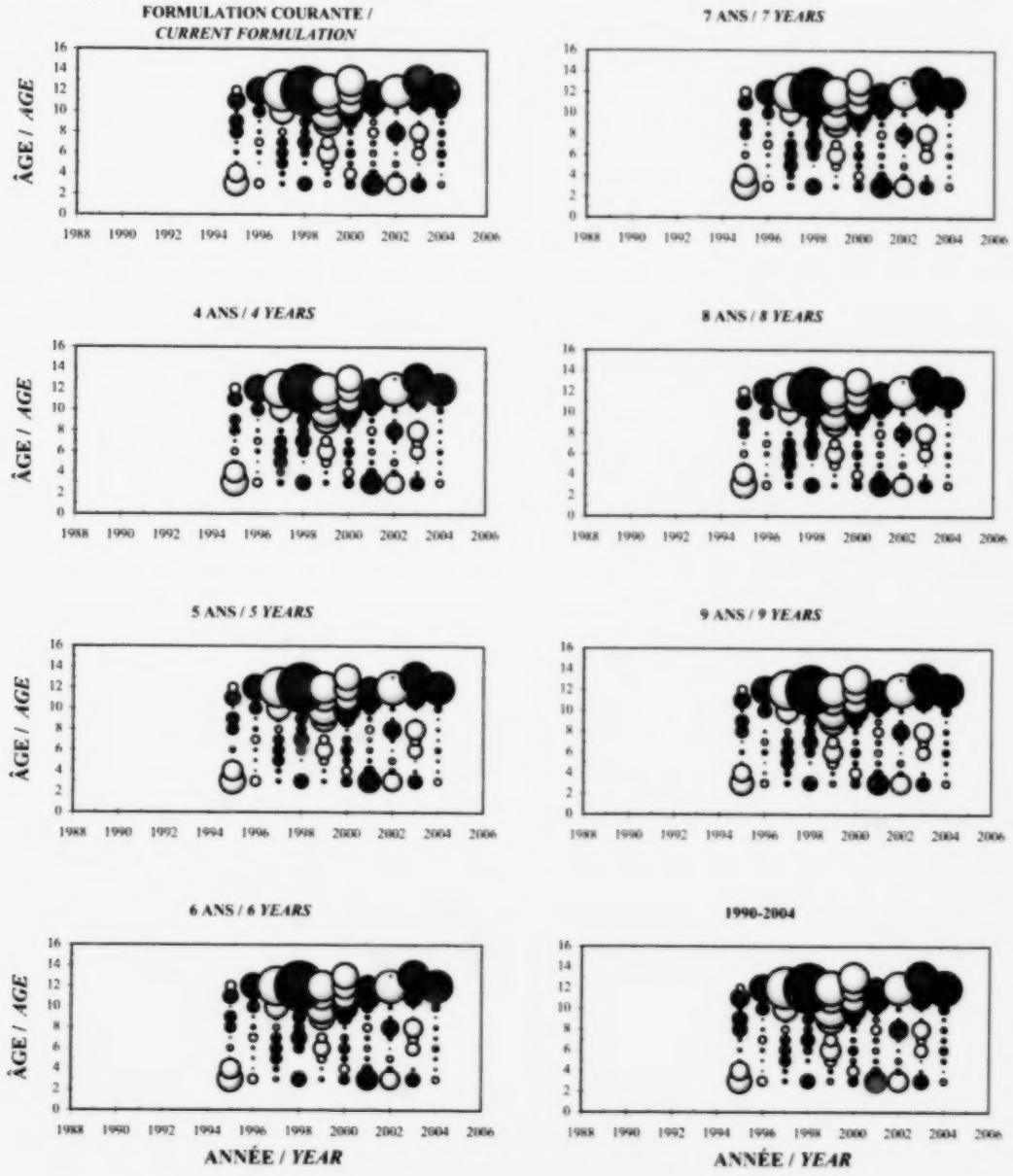

Figure 5. Résidus annuels, par groupe d'âge et par période de calcul de la mortalité naturelle de l'indice d'abondance des pêches sentinelles de juillet / *Annual, by age group and period of calculation of the natural mortality residuals of the July Sentinel fishery abundance index.*

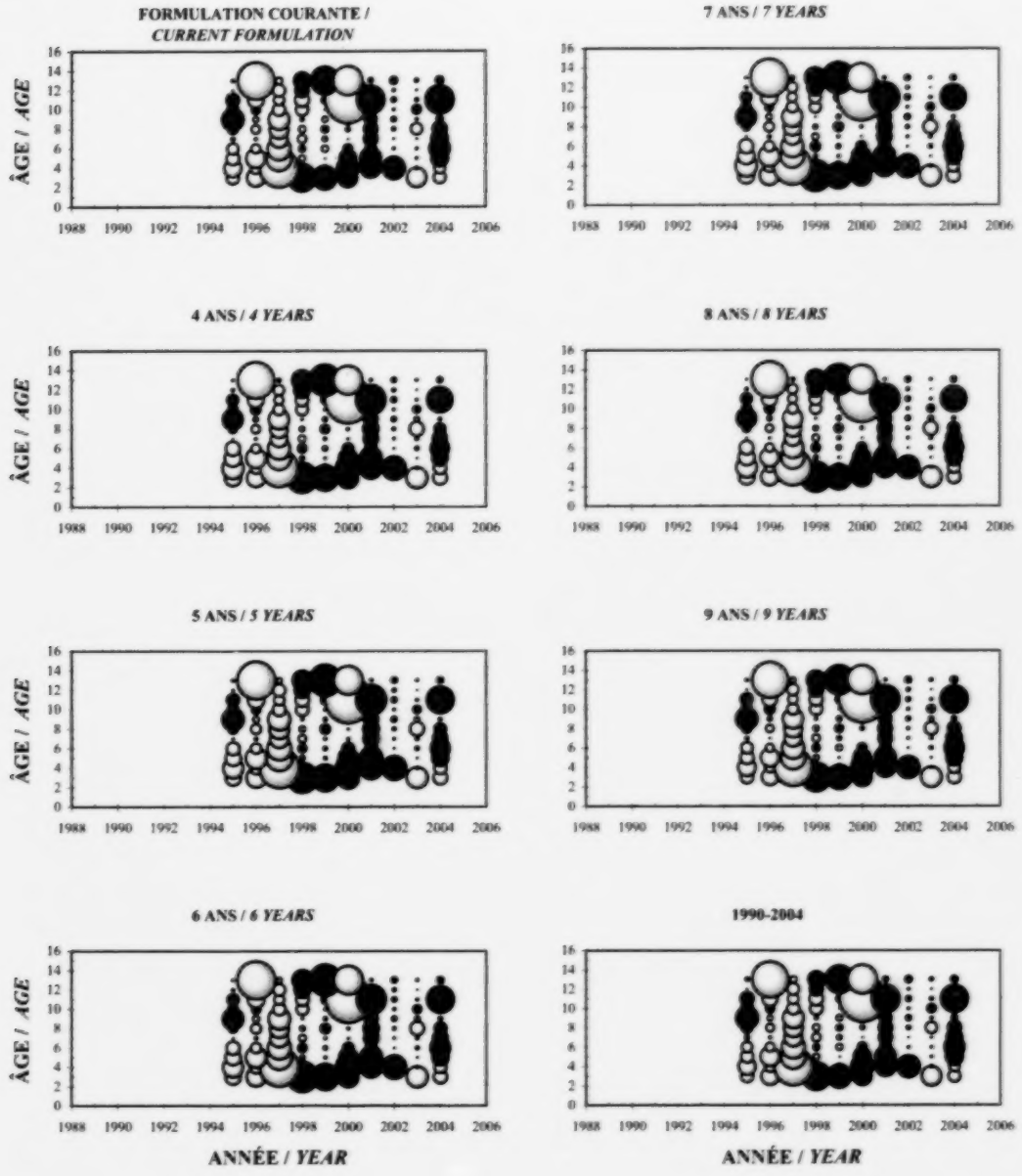

Figure 6. Résidus annuels, par groupe d'âge et par période de calcul de la mortalité naturelle de l'indice d'abondance des pêches sentinelles à la palangre / *Annual, by age group and period of calculation of the natural mortality residuals of the Sentinel fishery longline abundance index.*

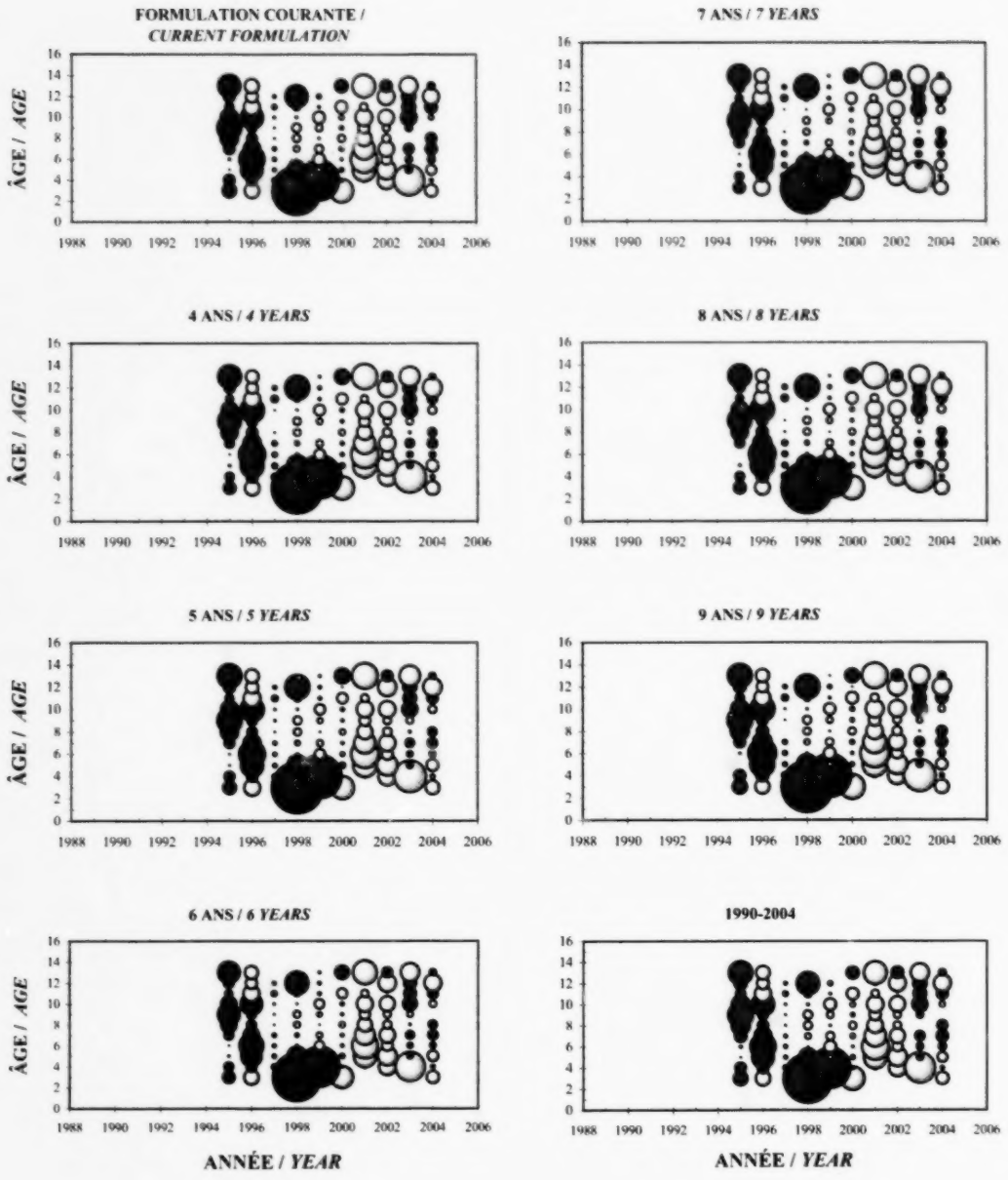

Figure 7. Résidus annuels, par groupe d'âge et par période de calcul de la mortalité naturelle de l'indice d'abondance des pêches sentinelles aux filets maillants / *Annual, by age group and period of calculation of the natural mortality residuals of the Sentinel fishery gillnet abundance index.*

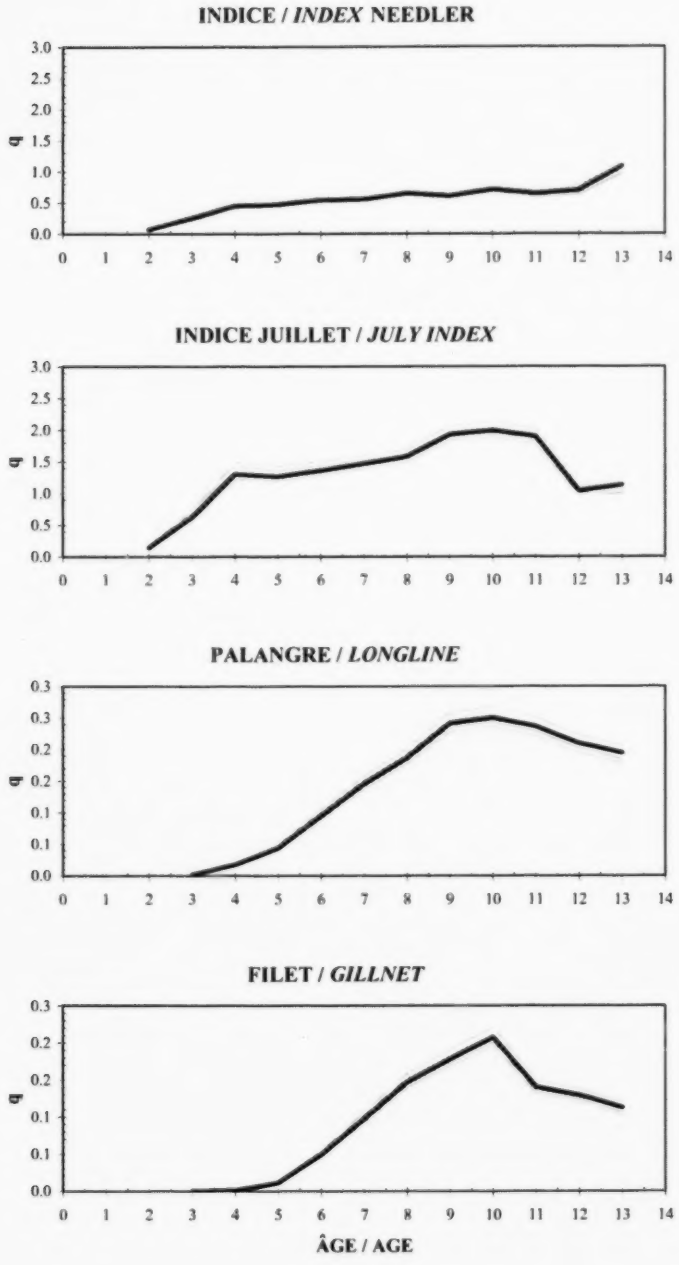

Figure 8. Coefficients de capturabilité (q) calculés par indice d'abondance et période de calcul de la mortalité naturelle (la formulation courante est représentée par le trait foncé) / *Coefficients of catchability (q) calculated by index of abundance and period of calculation of the natural mortality (current formulation is represented by the bold line).*

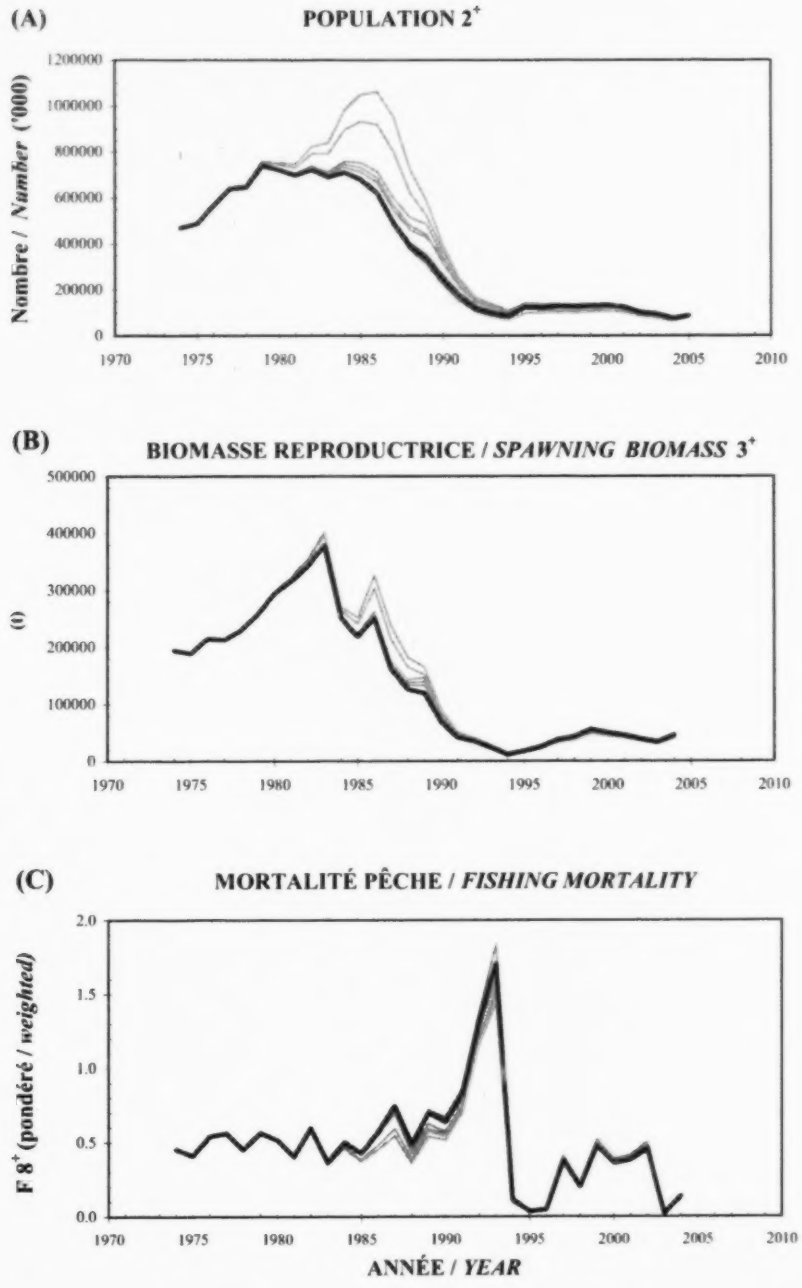

Figure 9. Abondance ('000) (A), biomasse reproductrice (t) (B) et mortalité par la pêche (C) pour chaque période de calcul de la mortalité naturelle (la formulation courante est représentée par le trait foncé) / *Abundance ('000) (A), spawning biomass (t) (B) and fishing mortality (C) by period of calculation of the natural mortality (current formulation is represented by the bold line).*

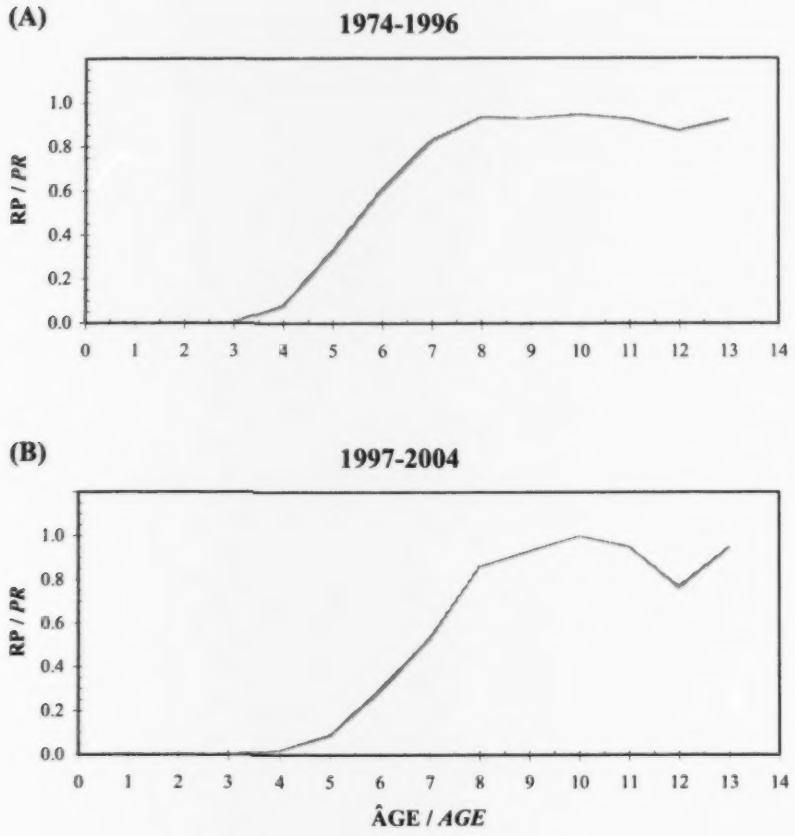

Figure 10. Recrutement partiel moyen (RP) calculé pour les années 1974-1996 (A) et 1997-2004 (B) et par période de calcul de la mortalité naturelle / *Mean partial recruitment (PR) calculated for the years 1974-1996 (A) and 1997-2004 (B) and by period of calculation of the natural mortality.*

Annexe 1. Capture à l'âge ('000) de la morue du nord du golfe du Saint-Laurent pour la période de 1974 à 2004.

Annex 1. Catch-at-age ('000) for the northern Gulf of St. Lawrence cod for the 1974 to 2004 period.

ANNÉE / *YEAR*	ÂGE / *AGE*											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1974	0	741	4069	9607	13498	5303	6658	2794	1509	413	173	82
1975	0	35	4313	7707	5091	7185	2930	2757	1719	740	316	135
1976	0	217	5210	12535	6323	4244	5750	1991	2561	993	395	147
1977	0	14	2672	10124	12756	7943	2628	3274	1098	894	394	291
1978	0	61	2678	10794	17616	9292	2163	1064	1261	538	441	235
1979	0	70	3404	13995	12871	12592	4822	1429	721	543	300	141
1980	0	605	3390	17515	20196	11624	7064	1531	483	289	324	77
1981	0	316	6689	8999	20054	13971	4730	2154	939	294	172	163
1982	0	229	3231	18782	12747	13768	8673	3372	2109	618	145	74
1983	0	840	4901	15255	18451	10206	6002	3061	1161	817	211	214
1984	0	47	2947	7733	13493	20246	7394	5688	2095	821	406	145
1985	0	175	2518	15909	13820	10688	9818	3179	2317	828	200	81
1986	0	215	2415	8534	15635	11847	6024	6189	2284	1748	461	185
1987	0	15	1194	8426	12310	11864	7210	3650	1843	1470	575	261
1988	0	117	1274	6037	11452	6078	5145	1515	656	826	277	142
1989	0	370	1882	5059	8190	8576	4101	2703	1085	480	380	145
1990	0	362	3083	7677	5916	5435	3984	1665	913	273	112	61
1991	0	109	3004	6928	6896	3344	2587	1996	487	433	115	57
1992	0	309	4276	9148	6080	3414	1661	1132	679	210	104	51
1993	0	169	1949	3807	5985	2863	888	343	215	130	22	20
1994	0	1	2	41	65	89	47	7	7	2	2	1
1995	0	2	10	23	52	40	33	17	5	2	1	1
1996	0	2	22	60	107	90	57	41	13	2	1	1
1997	0	18	296	386	764	475	517	220	248	31	10	3
1998	0	1	30	350	349	460	222	136	123	40	17	4
1999	0	1	45	200	953	454	776	375	178	136	54	7
2000	0	1	48	400	675	1269	375	429	159	50	14	11
2001	0	1	161	298	638	642	1016	333	188	50	30	24
2002	0	1	63	283	874	748	823	658	168	46	7	26
2003	0	0	8	21	52	61	43	15	16	11	1	1
2004	0	0	4	98	272	387	334	233	100	67	7	6

Annexe 2. Indices d'abondance utilisés dans le calibrage de l'analyse séquentielle de populations pour la morue du nord du golfe du Saint-Laurent.

Annex 2. Abundance indices for the calibration of the sequential population analysis for the northern Gulf of St. Lawrence cod.

A) Relevé scientifique du NGCC Alfred Needler* / *CCGS Alfred Needler scientific survey**:

ANNÉE / YEAR	ÂGE / AGE											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1990.7	3682	23621	18926	9820	3730	3666	3533	736	239	76	30	53
1991.7	4037	21310	45809	24156	10702	3004	1772	1874	435	252	47	74
1992.7	1633	4116	9031	9149	3509	1092	515	370	162	85	45	22
1993.7	1054	1497	1535	1810	1734	388	168	31	30	0	16	0
1994.7	2187	7817	4156	2481	2456	2010	729	173	57	25	29	0
1995.7	913	1080	4703	3396	2256	1056	957	193	117	37	0	0
1996.7	1249	5392	2963	3562	1968	1120	346	268	57	0	10	0
1997.7	2305	3100	8757	3451	4207	2329	1218	428	407	21	0	0
1998.7	1091	5780	7052	8123	3656	2956	856	606	176	0	0	0
1999.7	4340	7917	8179	3761	4455	1095	978	343	88	176	34	22
2000.7	2429	12457	11082	6371	2763	3268	836	613	184	86	92	16
2001.7	2583	5448	4564	3134	2835	1411	1912	270	530	77	82	28
2002.7	941	1891	4056	1581	1099	652	620	196	152	15	0	0
2003.7	5127	7909	8377	6418	3608	2308	966	496	552	107	50	0

* Population en nombres ('000) / *Population in numbers ('000)*

B) Relevé de juillet des pêches sentinelles* / *July Sentinel survey**:

ANNÉE / YEAR	ÂGE / AGE											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1995.6	4926	5676	11705	7782	4683	3279	2884	579	138	60	20	0
1996.6	3999	17617	15048	12058	5821	2961	1999	1571	357	62	26	0
1997.6	7328	15377	34713	12408	11075	4294	1722	1283	412	109	7	0
1998.6	5398	22015	17317	18555	7836	7618	2492	1700	652	403	99	0
1999.6	5477	13649	15636	9157	7889	2919	2506	509	227	126	34	0
2000.6	3272	19929	27396	15399	10436	9343	2144	2124	753	125	32	19
2001.6	14245	28461	24997	12700	7868	4574	3473	1213	809	250	112	26
2002.6	1558	7879	21184	12107	9823	5336	4298	2286	686	191	13	19
2003.6	2808	11094	18293	14941	7136	5107	2370	1910	1497	535	113	51
2004.6	1625	8720	16064	13553	12629	7776	5049	3065	1501	1101	282	55

* Population en nombres ('000) / *Population in numbers ('000)*

Annexe 2. (Suite).
Annex 2. (Continued).

C) Pêches sentinelles à la palangre* / *Longline Sentinel fishery**:

ANNÉE / YEAR	ÂGE / *AGE*										
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1995.6	22.58	152.91	175.42	256.92	339.53	328.08	97.54	22.51	6.53	5.01	3.42
1996.6	40.78	143.38	240.73	279.02	332.36	198.63	172.81	41.99	5.79	1.59	1.37
1997.6	29.74	131.60	153.73	291.21	192.91	136.65	100.31	67.86	10.68	3.43	1.06
1998.6	110.60	308.58	567.70	539.35	408.99	198.20	146.69	67.01	28.91	8.40	3.13
1999.6	100.52	560.09	430.54	776.56	349.03	421.91	116.12	75.61	42.46	19.67	4.12
2000.6	86.85	532.21	785.23	760.00	804.12	252.98	140.62	24.94	8.26	9.53	3.15
2001.6	51.42	572.82	914.23	896.54	774.62	794.52	252.86	102.67	37.26	14.25	5.13
2002.6	42.18	323.53	526.09	687.74	548.90	353.26	349.60	72.59	38.68	5.91	3.70
2003.6	13.14	179.74	533.71	654.34	609.71	318.34	211.01	222.65	42.60	17.56	4.16
2004.6	21.63	149.76	702.44	1328.22	1113.99	776.02	431.06	192.40	227.92	27.17	12.94

* Nombre par 1000 hamecons x 100 / *Numbers per 1000 hooks x 100*

D) Pêches sentinelles au filet maillant* / *Gillnet Sentinel fishery**:

ANNÉE / YEAR	ÂGE / *AGE*										
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1995.6	3.05	21.77	65.69	201.23	324.86	395.01	98.73	26.65	3.87	4.54	3.65
1996.6	2.09	17.41	262.78	523.06	473.60	303.08	218.07	65.88	2.62	0.56	0.64
1997.6	2.06	28.36	93.97	343.79	255.84	185.60	132.44	76.75	10.99	3.22	0.43
1998.6	16.58	71.10	360.60	236.85	284.86	140.06	85.68	76.10	20.06	7.72	0.60
1999.6	1.66	14.22	88.15	302.52	200.32	257.47	78.08	40.17	22.09	9.05	1.38
2000.6	0.97	14.24	140.69	326.71	460.55	171.42	120.42	34.41	12.47	7.59	6.78
2001.6	0.15	8.13	48.68	113.93	147.28	222.10	81.97	33.24	7.07	6.54	0.59
2002.6	0.34	5.49	57.41	223.28	205.80	182.50	167.33	33.94	19.82	2.00	3.04
2003.6	1.37	12.48	166.57	469.93	632.86	354.85	221.60	264.04	39.36	19.16	1.37
2004.6	1.33	5.37	71.01	498.03	726.25	610.20	225.77	98.06	94.13	6.97	7.90

* Nombre par filet x 100 / *Numbers per net x 100*